

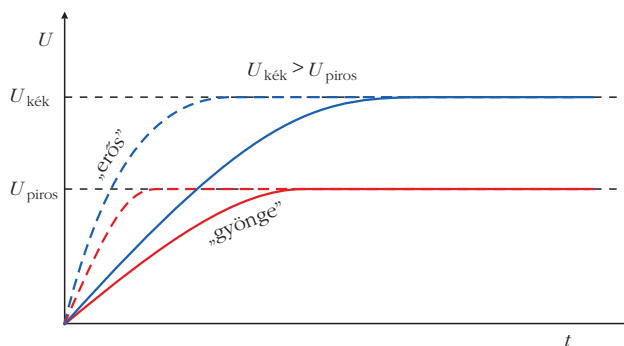
A FÉNYELEKTROMOS JELENSÉG VIZSGÁLATA myDAQ-val

Lipcsey-Magyar Márton Pál, Lichter Bertalan Ede, Piláth Károly
ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium

Az alábbi írásban a 2019–2020. évben az ELFT és a National Instruments Tanári myDAQ pályázatán I. helyezést nyert *Valós idejű erőmérés és további kísérletek* című munkánkból a *Fényelektromos jelenség vizsgálata* című fejezetet osztjuk meg a *Fizikai Szemle* olvasóival.

Tóth Eszter tanárnő kitűnő fizikakönyvében [1] találkoztam először az 1. ábrán látható diagrammal, amely szemléletességével belopta magát a szívembe. Az ábrán egy fotocella áramával töltődő kondenzátor feszültségét láthatjuk az idő függvényében, a hullámhosszal és a fényerősséggel paraméterezve.

A könyvben szereplő görbék alakja a 2. ábrán látható elvi kapcsolási rajz alapján érthető meg. Ha a rajz szerinti elrendezésben a fotocella katódját megvilágítjuk, akkor a vákuumcellában lévő fotokatódból elektronok lépnek ki. A kirepült elektronok az anódon halmozódnak fel. A töltésszétválasztódás miatt az anód és a katód között egyre növekvő elektromos feszültség alakul ki. A növekvő feszültség következtében egyre nő az anód és a katód között kialakuló elektromos mező kirepülő elektronokra kifejtett fékező hatása. Az újabb és újabb kilépő elektronoknak így egyre nagyobb fékező hatást kell legyőzniük, hogy elérjék az anódot. Amikor a töltésszétválás miatt kialakuló elektromos mező eU munkavégző képessége egyenlővé válik a kilépő elektronok



1. ábra. A Tóth Eszter könyvének szemléletes ábrája.

$$\frac{1}{2} m v^2$$

mozgási energiájával, akkor a kilépő elektronok már nem érik el az anódot, így egy adott feszültségnél megáll a töltések további szétválasztódása. Ennek következtében a kondenzátor feszültsége sem nő tovább. Ha a fotocellát a kísérletben először kis intenzitású (gyenge), majd nagyobb intenzitású (erős) monokromatikus fényel világítjuk meg, akkor a kondenzátor azonos színű fény esetén azonos feszültségre töltődik, de a folyamat tovább tart kisebb intenzitású fény esetén. A maximális egyensúlyi feszültség értéke a katódtól kilépő elektronok mozgási energiájától függ.

A görbék alakjából tehát jól látható, hogy a kék fény nagyobb energiát képes átadni az elektronoknak, mint a piros. A különböző fémekből készült katódok különböző energiával kötik elektronjaikat, így a céziumkatódból már a piros, míg a lítiumból csak a kék vagy a kéknél rövidebb hullámhosszúságú fény képes elektronokat kiléptetni. *Albert Einstein* nevéhez köthető az erre vonatkozó egyenlet felírása.

$$hf = W_{ki} + \frac{1}{2} m v^2. \quad (1)$$



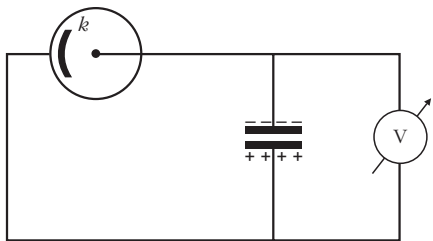
Lipcsey-Magyar Márton Pál 10.B osztályos tanuló, az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium diákja.



Lichter Bertalan Ede 10.B osztályos tanuló, az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium diákja.



Piláth Károly kutatótanár 1979-ben végzett az ELTE fizika–kémia szakán. Ezt 2005-ben informatikatanári végzettséggel egészítette ki a Veszprémi Egyetem Informatika Karán. Korábban a Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnáziumban tanított, majd 2005 óta a Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium tanára, vezetőtanára. 2013-tól 2018-ig a Trefort fizika–informatika munkaközösségének vezetője. 2017-től nyugdíjas óraadó az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban.



2. ábra. A mérés elvi vázlata.

Az egyenletben h a Planck-állandót, f a katódot megvilágító fotonok frekvenciáját, W_{ki} az adott fémre vonatkozó kilépési munkát, az

$$\frac{1}{2} m v^2$$

pedig a kilépő elektronok mozgási energiáját jelenti. A fenti egyenlet kifejezhető a fotocellán mérhető feszültséggel is:

$$hf = W_{ki} + eU. \quad (2)$$

Amiből a kilépési munka egyszerűen adódik:

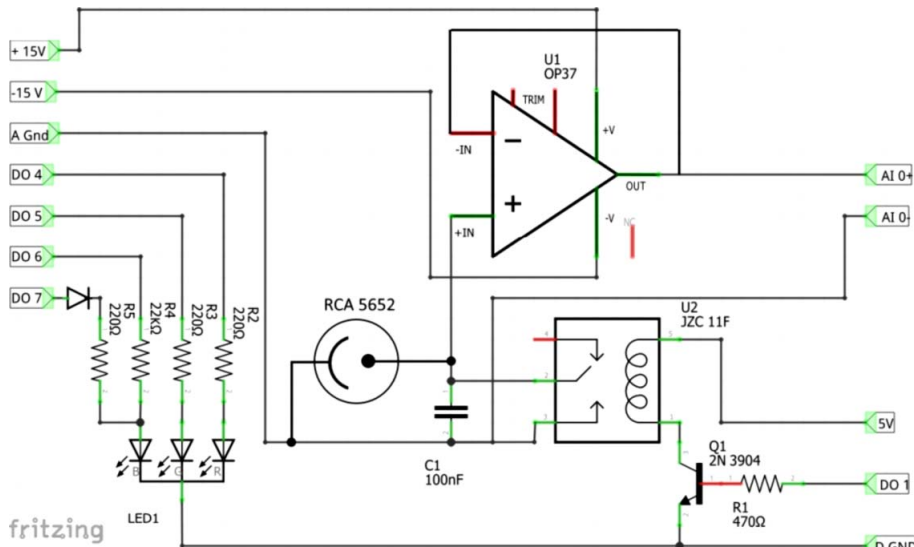
$$W_{ki} = hf - eU. \quad (3)$$

Már régóta tervezgettem, hogy tanítványaimnak bemutatom ezt a mérést, mert szerintem nagyon megkönnyíti a fényelektromos hatás lényegének megérté-

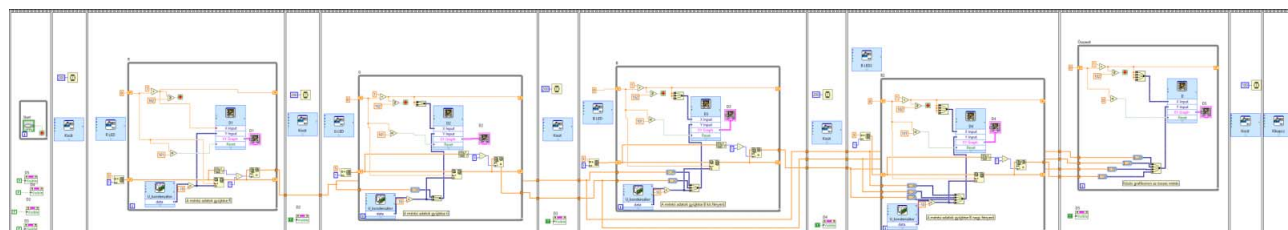
sét, azonban kivitelezése hagyományos eszközökkel nem egyszerű. A mérés végtelen nagy belső ellenállású voltmérőt igényel. A hagyományos műszerek belső ellenállása viszont e méréshez kicsi, a nagyobb belső ellenállású digitális voltmérők mérési ideje pedig hosszú, így nehéz leolvasni a feszültséget az idő függvényében. Lehetőségeinket elemezve könnyen kiderül, hogy ez a kísérlet egy tipikusan myDAQ-ra szabott feladat. Csak a méréshez szükséges kondenzátort kell tölteni egy fotocellával és közben folyamatosan mérni a kondenzátor feszültségét, az idő függvényében. Ebből a feladatsorból a fotocella beszerzése jelenti talán a legnehezebb feladatot! Az ebay-en azért időnként még lehet találni egy-egy ilyen lassan már múzeumi alkatrész kategóriába sorolható fotocellát. Mivel muzeális értékük már jelentős, ezért nem könnyű olcsón hozzájutni ezen alkatrészekhez. Türelmes keresgéssel azért sikerült beszereznem egy RCA 5652 típusú. A 3. ábrán látható kapcsolási rajz alapján, különböző színű LED diódákkal megvilágított ilyen fotocellával töltöttünk fel egy 100 nF kapacitású kondenzátort. Minden újabb megvilágítás (színcsere) előtt, egy – a myDAQ-hoz mellékelt szenzorkészletből származó – JZC 11F típusú relével kisütöttük a kondenzátort, hogy a feltöltés időbelisége is kidomborodhasson. A különböző fényerősségről a LED áramának növelésével gondoskodtunk. A kapcsolási összeállításból kiderül, hogy a kondenzátor feszültségét egy OP 037 műveleti erősítővel illesztettük a myDAQ

analog bemenetének bemeneti impedanciájához. Ily módon gyakorlatilag a méréshez javasolt végtelen bemenő ellenállású voltmérővel mérhetjük a kondenzátor feszültségét az idő függvényében. A LED diódákat a DO7–DO4 digitális portokon keresztül kapcsolgattuk piros, zöld, majd kék, illetve nagyobb fényerejű kék sorrendben. A relét egy 2N 3904 típusú tranzisztor közbeiktatásával vezéreltük a DO 0 kimeneti portról. A vezérlő vi lehetett volna lényegesen egyszerűbb is, de a didaktikai hatás érdekében egymás után, egymásra rajzolva vettük fel a kondenzátorfeszültség idődiagram

3. ábra. A mérés kapcsolási összeállítása.



4. ábra. A mérést vezérlő vi.

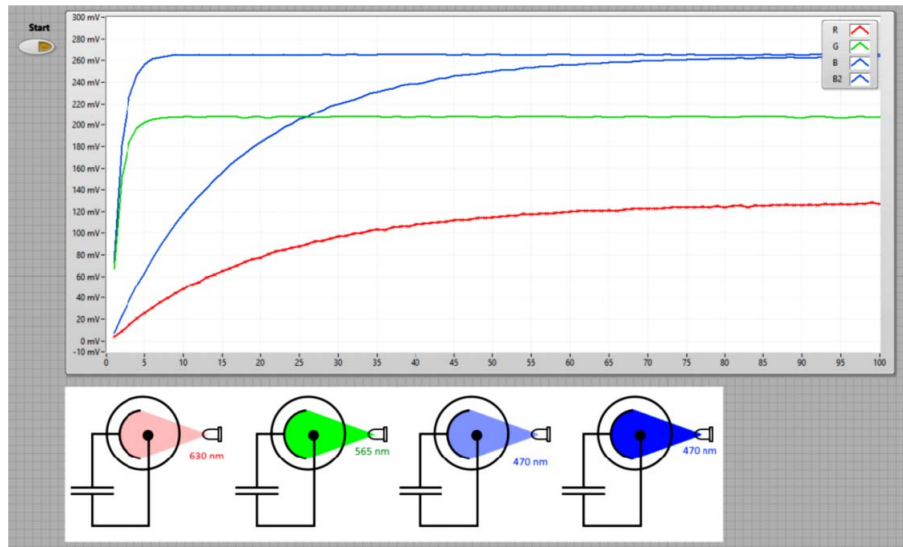


jaít, miközben igyekeztünk megfelelni a Tóth Eszter tanár-nő tankönyvében bemutatott ábrának.

A mérést egy „Flat Sequence Structure” elemmel vezéreltük (4. ábra). E műveletor „film-kockái” a következő lépéseket tartalmazzák. A mérés kezdetekor kisütjük a C1 kondenzátort, majd bekapcsoljuk a piros LED-et. Mérjük a fotokatódból kilépő elektronokkal töltődő C1 kondenzátor feszültségét az idő függvényében. Az első mérést követően ismét kisütjük a kondenzátort, majd mérjük a zöld LED-del megvilágított kondenzátor feszültségét. Az eredményt rárajzoljuk a piros LED diagramjára, majd a kék LED következik, először kisebb, majd nagyobb fényerővel megvilágítva. Az események folyamatosan követik egymást, szinte életre keltve a fent említett fizikakönyv [1] remek ábráját. Egy ilyen mérés végeredménye az 5. ábrán tekinthető meg.

Az 5. ábrán látható mérési eredmények alapján megpróbáltuk beazonosítani a fotocella katódjának anyagát. Az 1. táblázat és a 3. egyenlet alapján a kilépési munkára 2,07 eV átlagos értéket kaptunk, amely a cézium 1,95 eV-os kilépési munkájához áll a legközelebb.

Az adatokból látszik, hogy a legnagyobb (1,95 eV) eltérést az irodalmi értéktől a kék tartományban kaptuk. Hibaforrás lehetett, hogy a LED-ek hullámhosszadatai az internetes irodalomból származnak, nem mértük őket. A méréshez használt kék LED sávszélessége is meglehetősen nagy volt ahhoz, hogy monokromatikus fényforrásként számolhassunk vele. A kisebb mérési pontatlanságoktól eltekintve, azért ez a



5. ábra. A Tóth Eszter-féle diagram mért változata.

1. táblázat

Az elektron kilépési munkája a fotocella katódjából

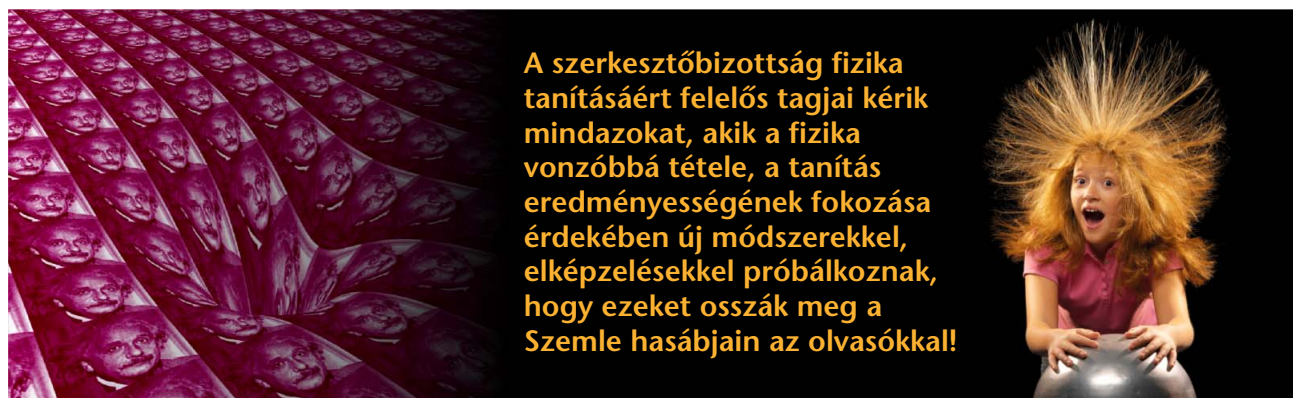
λ (nm)	U_c (mV)	f (10^{12} Hz)	hf (10^{-21} J)	eU (10^{-21} J)	W_{ki} (10^{-21} J)	W_{ki} (eV)
470	260	638	422,9	41,65	381,3	2,38
565	208	530	351,8	33,32	318,5	1,99
630	128	476	315,5	20,51	295,0	1,84
a kilépési munka átlaga:						2,07

mérés meglehetősen jól visszaadja a jelenség lényegét, így összességében úgy értékeltük, hogy megérte a befektetett munkát.

A mérés lépéseit bemutató videó a YouTube videó-megosztón – <https://youtu.be/dX84dpZZyr0> – tekinthető meg. A teljes pályázat és a hozzá tartozó forráskódok letölthetők a http://www.trefort.elte.hu/fizika/mydaq2020_pilath.rar címről.

Irodalom

1. Tóth Eszter: *Fizika IV*. ISBN 963 19 0566 7 Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Szemle hasábjain az olvasókkal!